

Nehezen hegeszthető anyagok hegesztése lézerrel

A nehezen hegeszthető anyagokhoz az utóbbi időkben különleges hegesztési eljárásokat dolgoztak ki. A paraméterek optimalizálásával jó kötésszilárdságot sikerült elérni a farostokkal erősített műanyagkompozitokban is. Emellett egyrészt tapadásközvetítő egyrétegű fóliákkal sikeresen hegesztettek PP/PA6 anyagpárokat, másrészt a hegesztendő felület plazmakezelésével számos más, kémiaileg szintén erősen eltérő műanyag kombinációját is. A hegesztendő felületek egyenetlenségei miatt előforduló rések okozta gyengébb varratszilárdság a lézersugár hatására kihabosodó adalékkal kompenzálható.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; hegesztés; PP; PE-HD; PA; PBT; POM; PC, PA 6; fa-műanyag kompozit; habosítás; lézertechnika.

A megújuló nyersanyagbázisra épülő technológiák iránt egyre növekvő érdeklődés tapasztalható. Ezek közé tartoznak a farostokat, mint töltő- és/vagy erősítő adalékokat tartalmazó műanyagkompozitok, azaz angol nevük (Wood-Plastic-Composite) rövidítése szerint a WPC anyagok. Leggyakrabban PVC, polietilén vagy polipropilén mátrixba kevernek be 40–80% farostot. *A WPC anyagok a hasonló fa termékekhez képest sokkal jobb időjárás-állósággal rendelkeznek.*

A WPC anyagokból általában különböző profilokat extrudálnak, de gyakran fröccsöntéssel is feldolgozzák azokat. Ha több különböző WPC alkatrészt össze is lehet hegeszteni, az jelentősen kibővíti alkalmazási lehetőségeik körét. Ezért német kutatók megvizsgálták, milyen körülmények között lehet eredményesen hegeszteni a különböző összetételű WPC anyagokat. Ennek során *a tükrhegesztést, az ultrahangos és a vibrációs hegesztési technológiákat alkalmazták.*

Megállapították, hogy mind a poliolefin, mind pedig a PVC mátrixú WPC anyagok jól hegeszthetők, és akár *az eredeti anyag 70%-át is kitevő kötésszilárdság érhető el.* A kötési varratok mikroszkópos vizsgálata is egyenletes, jó minőségű kötéseket igazolt. Azonban figyelembe kell venni, hogy a WPC anyagok nagyon sokféle összetételűek lehetnek, ezért az adott kompozithoz a megfelelő hegesztési paramétereket mindig kísérleti úton kell meghatározni. A WPC anyagokból készült termékeket jelenleg elsősorban a gépkocsik padlózatánál, teraszok burkolatához, keretek, polcok anyagaként alkalmazzák. A hegesztett WPC termékekkel várhatóan számos kis- és középvállalat betörhet a gépkocsialkatrészek és a bútorigar gyártásába.

A különböző alkalmazástechnikai igények miatt gyakran előfordul, hogy különböző polimerekből készült műanyag alkatrészeket, termékeket kell összeerősíteni. Erre számos technológia ismeretes, de a hegesztést csak ritkán alkalmazzák, mivel a különböző kémiai összetételű polimereket csak néhány (pl. a PC/PMMA) anyagpár esetén lehet összehegeszteni. Ennek az az oka, hogy a különböző kémiai összetételű polimer láncok között nem jönnek létre fizikai kötőerők, a műanyagömlékben a láncok nem gabalyodnak egymásba. Mint ismeretes, a lézeres hegesztési technológia alkalmazása során olyan anyagpárt hegesztenek össze, amelyek közül a felső a lézersugár szempontjából átlátszó, azaz annak energiáját nem nyeli el, míg az alsó anyag elnyeli azt, és ezáltal felhevülve nemcsak önmaga olvad meg, de az így generált hő (hővezetéssel) a vele érintkező felső anyag felületét is megolvasztja. A lézersugár energiájának elnyelését általában kb. 1% koromadalék bekeverésével biztosítják.

A különböző kémiai összetételű műanyagok lézeres hegesztési problémájának megoldására ritkán, de már eddig is alkalmazták azokat a speciális, többrétegű fóliákat, amelyek egyes rétegei az összehegesztendő polimerekkel kompatibilisek. A különböző fóliarétegek tapadását az *ún. tapadásközvetítő anyagok rétege* biztosítja. Ilyen például a PP/PA 6 anyagpár esetében a maleinsavanhidriddel bejuttatott polipropilén. Az ilyen kopolimerláncok megömlesztett állapotban a polipropilénnel fizikai, a poliamiddal pedig kémiai kötéseket tudnak létrehozni, ezáltal biztosítják az anyagpár összehegedését.

A többrétegű fóliák előállítására koextrúzióval azonban meglehetősen bonyolult és drága eljárás. Ezért a fejlesztők igyekeztek olyan megoldást találni, amikor a lézerral összehegesztendő anyagpárok közé olyan speciális adalékokat tartalmazó egyrétegű fóliát vezetnek be, amely a lézersugár szempontjából átlátszó ugyan, de az alatta elhelyezkedő elnyelő anyagréteg felmelegedése során keletkező hő olyan kémiai reakciót is kivált benne, melynek során a tapadásközvetítő tulajdonságok aktivizálódnak, és persze a felső anyagpár felülete is megolvad.

Egy másik megoldást kínál a különböző műanyagok összehegesztéséhez, ha a hegesztendő felületeket plazmával kezelik, amivel olyan kémiai csoportokat alakítanak ki a felületi rétegben, amelyek elősegítik a hegesztési folyamat során megömlesztett polimerláncok kompatibilitását.

A fenti módszerek alkalmazhatóságát német kutatók kísérletekkel is igyekeztek igazolni. A PP/PA 6 anyagpárnál a PP láncra ojtott maleinsavanhidrid-alapú, 100 µm vastag egyrétegű fóliával kapott eredményeket az *1. táblázat* szemlélteti. Az adatokból látszik, hogy valóban széles (0,15–6 s) besugárzási tartományban lehet elfogadható kötési szilárdságot elérni. A legjobb kötésszilárdság 459 N volt (51 N szórással), ezt 33 W lézerteljesítménnyel és 2,5 s besugárzási idővel érték el. A varratok morfológiai elemzése is alátámasztotta, hogy már nagyon rövid (0,15 s) besugárzási idő alatt is létrejönnek a tapadásközvetítő kopolimer és a PA 6 között a kémiai-, illetve a PP esetében a fizikai kötések. Az anyagpár mindkét tagjánál megfelelő mélységű megolvasztott réteg jött létre, melynek vastagsága azonban a magasabb olvadáspontú (218 °C) poliamid esetében kisebb volt, mint a 164 °C olvadáspontú PP-nél.

Az alacsony nyomású, oxigéngáz közegben végzett plazmás felületkezelés után lézeres kontúrhegesztésnél használt beállításokat a 2. táblázat mutatja be.

1. táblázat

PP/PA 6 anyagpár szakítószilárdsága (N) 100 µm egyrétegű tapadasközvetítő fóliával végzett lézeres hegesztés után

Lézer teljesítménye W	Besugárzás időtartama, s										
	0,15	0,25	0,5	1,0	0,75	1,5	2,0	2,5	3,0	4,5	6,0
200		278									
150		347									
100		339									
67	436	376									
50											
33	x	319		375	349	391	387	459			
17	x	x		299		332		363		419	455
8	x	x	x	x	x	x					
4	x	x	x	x	x	x	X	x	x	x	x

x: nincs tapadás.

2. táblázat

Az alkalmazható hegesztési sebességhatárok 40 W lézerteljesítmény mellett

Transzparens anyag	Korommal adalékolt anyag	Hegesztési sebességhatárok mm/s	
		Minimum	Maximum
PP	PA 6	70	170
PA 6	PP	80	300

Megállapítható volt, hogy a kémiaailag nagyon különböző PP és PA6 a plazmakezelés hatására hegeszthetővé vált. Attól függően, hogy az anyagpár melyik tagja volt transzparens a lézersugárral szemben és melyiket tették koromadalékkal elnyelővé, eltérő hegesztési sebességekkel lehetett jó eredményt elérni. Ennek oka a két anyag eltérő optikai tulajdonságaiban rejlik. Noha a PP fényáteresztési foka 88%, míg a PA 6 esetében ez az érték csak 62,7%, azaz a PP esetében a besugárzott energia nagyobb

része jut el a hegesztési zónába, mégis az anyag termikus degradációja nélkül lehet alacsonyabb hegesztési sebességekkel dolgozni PP felső réteggel, mert a fény behatolási mélysége a korommal adalékolt PP-nél 13 μm , míg a PA-nál ez az érték 64 μm . A nagyobb behatolási mélység következtében az elnyelt energia egy nagyobb térfogatban alakul át hővé, ezért a hegesztési felület kevésbé hevül fel. Ezzel magyarázható az is, miért lehet a korommal adalékolt PP esetében jóval gyorsabb hegesztési sebesség mellett is jó varratszilárdságot elérni. A különböző műanyagok plazmakezelést követő lézeres kontúrhegesztése után elért maximális kötőszilárdsági értékeit a 3. táblázat szemlélteti.

3. táblázat

Különböző műanyagpárok plazmakezelés utáni lézeres hegesztési szilárdsága
40 W lézerteljesítménynél

Transzparens anyag	Korommal adalékolt anyag	Szilárdság max. (N)	Szilárdság szórása (N)	Hegesztési sebesség* (mm/s)
PP	PA6	250	99	120
PA6	PP	320	37	120
POM	PA6	336	8	30
	PP	190	83	50
PBT	PA6	11	4	40
	PP	214	59	30
PC	PA6	436	52	90
	PP	135	79	180

* A maximális szilárdsághoz tartozó érték.

Megfigyelhető volt, hogy a PP/PA6 anyagpár esetében mintegy 22%-kal jobb szilárdság érhető el, ha a korommal adalékolt anyag a PP és a PA6 a transzparens anyag, mint fordítva. Jól látszik, hogy noha elég sok anyagpárnál jó hegesztési szilárdságot lehetett elérni, de ez nem minden esetben (ld. PBT/PA6 anyagpárt) igaz. Az optimális hegesztési sebesség is széles tartományban mozgott. Meglepő módon a legnagyobb szilárdságot a PC/PA6 anyagpárnál mérték, noha az amorf és a szemikristályos polimerek hegeszthetőségét korábban a legnehezebben megoldható feladatok közé sorolták. Ez a tapasztalat is alátámasztja azt a feltevést, hogy az elvégzett kísérletek során egyáltalán nem az elérhető legjobb hegesztési paramétereket sikerült megtalálni,

azaz a hegesztési paraméterek optimalizálásával a bemutatott szilárdsági értékeknél jobb eredményeket is el lehet érni.

A lézeres kontúrhegesztésnél előfordul, hogy az összehegesztendő felületek nem teljesen simák, egyenletesek, ezért, ha a hegesztendő felületek között helyenként túl nagy ($>50\ \mu\text{m}$) rés van, a hegesztési varrat gyenge lesz vagy egyes helyeken nem is jön létre. Ezen a problémán sikerült segíteni egy olyan eljárás bevezetésével, amelyet néhány évvel ezelőtt teljesen más célból fejlesztettek ki.

A *lézeres helyi habosítási eljárást* a vakok számára műanyag felületekre készített kitapintható feliratok (Braille írás) és jelzések előállítására dolgozták ki. Ennek során a lézersugár elnyelésére alkalmas adalék mellett olyan habosító adalékot is kevernek a műanyag alapanyagba, amely elviseli a műanyag-feldolgozás (extrúzió, fröccsöntés, stb.) során fellépő hőhatásokat, de a lézersugár hatására elbomlik, és az így keletkező gázok a lézersugár hatására felhevült és megömlesztett műanyagot az adott helyen felhabosítják. A zárt cellás habosodás hatására a besugárzott részek kismértékben (0,1–0,5 mm) kiemelkednek a műanyagtermék felületéről és így a vakok számára kitapinthatóak lesznek.

Ha a lézersugarat elnyelő anyagba ilyen habosító adalékot is kevernek, a felhabosodó anyag képes lesz kitölteni a hegesztendő felületek közti kis réseket (0,05–0,2 mm) és ezért megfelelő varratszilárdságot lehet elérni. Ezt az elméletet kísérletekkel is sikerült igazolni, amelyek során PE-HD fóliákat hegesztettek diódalézerrel ($\lambda\ 940\ \text{nm}$) úgy, hogy az alsó elnyelő fóliába a megfelelő habosító adalékot is bekeverték, és a fóliák közé egyes helyeken 50, 100, 190 és 350 μm vastag, CO_2 lézerrel kivágott PET fólia szeleteket helyeztek el, ezzel szimulálva a réseket. Megállapították, hogy mintegy 200 μm résméretig a habosítás hatására a varratszilárdság nem csökkent szignifikánsan, míg a 350 μm értéknél már az eredeti érték 60%-ára csökkent.

Összeállította: Dr. Füzes László

Rehmet P.: Forschung in der Fügetechnik: WPC = K-Zeitung, 42. k. 16. sz. 2011. p. 24.

Hopmann Ch.; Weber M.: Artungleiches Verbinden = Kunststoffe, 103. k. 3. sz. 2013. p. 40–45.

Klein R.; Wissemborski R.: Schaum überbrückt Fügespalt = Kunststoffe, 102. k. 8. sz. 2012. p. 57–59.